

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Pneumatický mechanismus přísuvu dna vyfukovací formy

Pneumatic Mechanism of Blowing Mould Feed Motion

Student:

Ondřej Štěpánek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Štěpánek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Pneumatický mechanismus přísuvu dna vyfukovací formy**
Pneumatic Mechanism of Blowing Mould Feed Motion

Zásady pro vypracování:

Navrhněte alternativní řešení přísuvu spodní části formy pro vyfukování PET lahví o objemu 1,5 litru. Forma musí být při vyfukování láhve tlakem 2,5 MPa zajištěna proti pohybu. Na jednom stroji jsou vyráběny dvě láhve najednou. Doba pracovního cyklu je 4,5 s, tzn. že jedna forma vyrobí za hodinu 800 lahví. Vypracujte následující body:

1. Popište současný stav daného problému.
2. Navrhněte několik alternativních řešení přísuvu formy a porovnejte jejich výhody a nevýhody.
3. Navrhněte pohon a řídicí prvky pro zvolené řešení.
4. Vypracujte nezbytnou výkresovou dokumentaci – pneumatické schéma, dispoziční výkres.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. 1. vydání. ISBN 80-7078-306-0
KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0
Katalogy výrobců pneumatických prvků
Podklady firmy EXELSIOR GROUP s.r.o. Bohumín

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

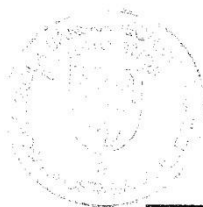
Konzultant bakalářské práce: Ing. Vladimír Jirka

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Štěpánek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Záfaří 394/4, Křelov, 783 36

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠTĚPÁNEK, O. Pneumatický mechanismus přísuvu dna vyfukovací formy: *bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010, 47 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodného řešení pro pneumatický přísuv dna formy vyfukovacího stroje Fast 2000 PRO pro výrobu 1,5l láhví PET a návrhem jeho pneumatického obvodu. Na základě požadovaných parametrů bylo navrženo několik možných provedení pohonu. Dále práce obsahuje stručné vysvětlení funkce jednotlivých navržených řešení a souhrn jejich výhod a nevýhod. Ze všech uvedených možností byla vybrána jedna, která byla dále podrobně rozpracována. Také bylo zařazeno jedno alternativní řešení. Navržené řešení a závěr této práce bude dále posouzen firmou EXELSIOR GROUP s. r. o.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠTĚPÁNEK, O. Pneumatic Mechanism of Blowing Mould Feed Motion: *Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment , 2010, 47 p. Thesis head: Dvořák, L.

Bachelor thesis deals with the choice of an appropriate solution for pneumatic mechanism of blowing mould feed motion on machine Fast Machine 2000 for manufacture of PET bottles of 1.5 liters and suggesting its pneumatic circuit. Based on the required parameters have been suggested several possible implementation of the drive. Further work includes a brief explanation of each proposed solution and a summary of their advantages and disadvantages. Of all these options were selected the one that has been further developed. Also included was an alternative solution. Proposed solution and conclusion of this work will be further reviewed by EXELSIOR GROUP Ltd.

Obsah

Seznam použitého značení	7
Úvod.....	8
1 Popis stávajícího řešení	8
2 Technologie vyfukování, výroba dutých těles.....	12
2.2 Stroje a zařízení pro výrobu dutých těles	13
2.3 Nástroje pro vyfukování	15
3 Možné způsoby řešení	17
3.1 Vrtání dna formy	17
3.2 Zajištění pomocí kyvného pneumomotoru	18
3.3 Mechanická pojistka ovládaná pneumaticky	20
3.4 Aretace dna pomocí pružin	22
3.5 Fluidní svaly	23
3.6 Tandemový válec.....	25
3.7 Válec s brzdou	26
3.8 Stůl s vedením	27
4 Výběr konstrukce a její početní řešení	28
4.1 Silové poměry na válci	29
4.2 Síla vyvozená pracovním tlakem - F_p	30
4.3 Tíhová síla hmotné zátěže	31
4.4 Výpočet potřebné síly pohonu pro přísuv dna.....	32
4.5 Síla tandemového válce - F_{TV}	33
4.6 Spotřeba vzduchu tandemového válce	34
4.7 Schéma a návrh prvků pneumatického obvodu	36
4.8 Kontrola průtoku vzduchu systémem	40
4.9 Porovnání spotřeby vzduchu.....	41
5 Výběr alternativního řešení	43
6 Závěr.....	44
7 Literatura.....	46

Seznam použitého značení

Značka	Název veličiny	Jednotka
d	jediný nebo menší průměr	[m]
D	větší průměr	[m]
f	frekvence cyklů	[min ⁻¹]
F	síla	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
G	tíhová síla	[N]
h	zdvih	[m]
k	poměr sil	[1]
m	hmotnost	[kg]
M	moment síly	[N.m ⁻¹]
p	tlak	[bar]
π	Ludolfovo číslo	[1]
Q	objemový průtok	[dm ³ .min ⁻¹]
Q _N	normální průtok	[dm _N ³ .min ⁻¹]
S	plocha	[m ²]
t	čas	[s]
V	objem	[m ³]

Úvod

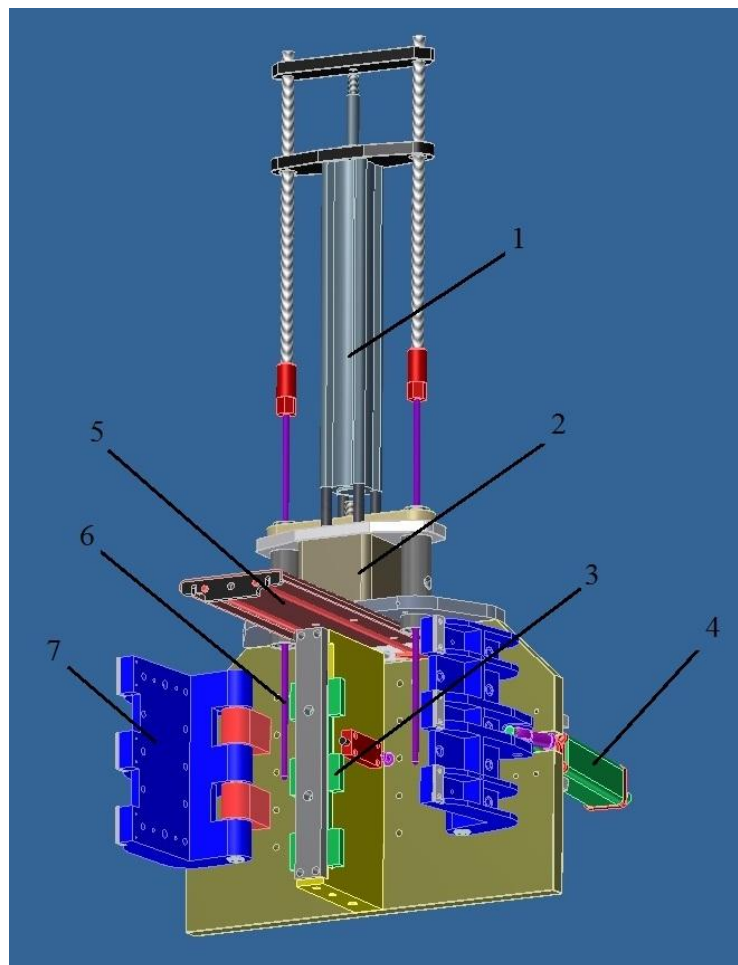
Práce se zabývá výběrem vhodného řešení pro pneumatický přísuv dna formy vyfukovacího stroje pro výrobu 1,5 l láhví PET a návržením pneumatického obvodu. Stávající řešení má několik nedostatků, které jsou popsány v další kapitole. Cílem je pokusit se najít takové řešení, které vyhoví daným požadavkům a odstraní nedostatky řešení stávajícího.

Možných řešení je hned několik a úkolem této práce také je vzít všechny tyto návrhy v potaz, vyhodnotit každý z nich na základě výhod a nevýhod, porovnat je mezi sebou konečně vybrat jeden, který vyhoví nejlépe. Vybrané řešení je dále podrobně rozpracováno a pro jeho bezproblémovou funkci navržen pneumatický obvod a jeho kontrola.

1 Popis stávajícího řešení

Jedná se o stroj na výrobu PET lahví - tzv. vyfukovačku - která využívá technologii dloužení preformy (viz. kapitola 2.1) s těmito parametry:

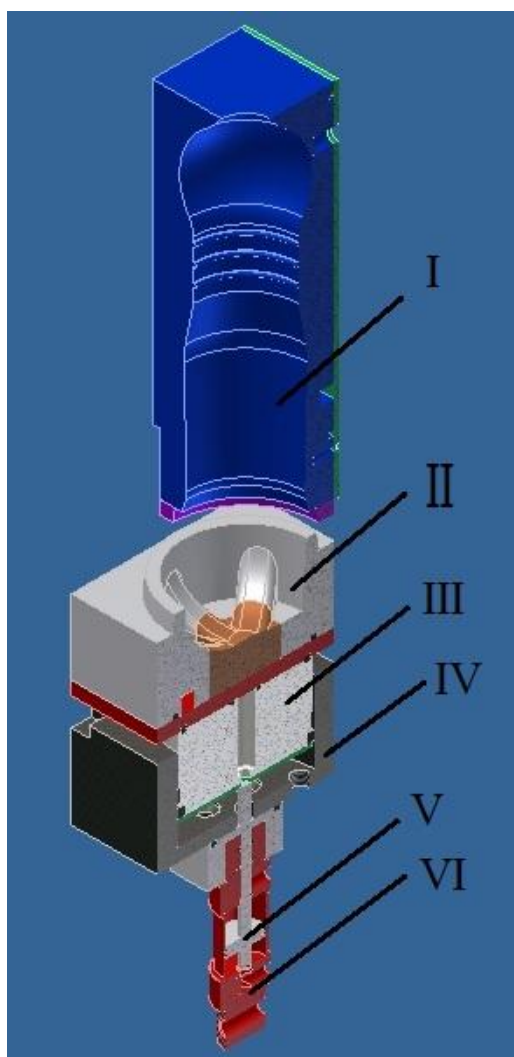
- pracovní tlak.....2,5 MPa
(síla potřebná pro přitlak formy.....15904 N)
- objem láhve.....1,5 dm³
- doba pracovního cyklu.....4,5 s
- objem výroby na stroji.....1600 lahví/hod
- počet pracovních směn.....3
- pracovní zdvih dna formy.....max. 30 mm



Obr. 1.1 Popis modulu pro vyfukování

- 1 - pneumomotor pro pohyb dlouhých trnů, 2 - pneumomotor pro vyfukování,
- 3 - zámek dveří, 4 - pneumomotor pro zavírání dveří, 5 - vyhazovač lahví,
- 6 - dlouhí trny, 7 - dveře s vrtáním na uchycení formy

Do dveří (7), které jsou z jednoho odlitého kusu, přijde uchytit forma pro vyfukování požadované láhve, tzn. požadovaného tvaru a objemu. Nahřátá preforma, která je uchycena za hrdlo budoucí láhve (obr. 1.3), je uzavřena dveřmi (7) a tím přiklopena druhou polovinou formy (I) (obr. 1.2). Ve stejný okamžik se přisune dno formy (II), které je poháněno malým přímočarým pneumomotorem (VI).



I - forma

II - přísuvné dno formy

III - válec pro vyvození většího tlaku

IV - vedení válce

V - píst s pístnicí

VI - pneumomotor (1 MPa)

Obr. 1.2 Popis přísuvu dna

Jako zámek v této poloze, aby nedošlo k odtlačení dna v důsledku velkého vyfukovacího tlaku (2,5 MPa), slouží jednoduchý mechanismus založený na principu "tlaku na větší plochu". Tlak 2,5 MPa působí pouze na tvarované dno formy (II), kdežto síla ze spodního PM, ale hlavně tlak přiváděný pod píst (III) způsobí, že nedojde k pohybu dna formy při procesu vyfukování.

Následuje dloužení preformy až ke dnu formy za pomoci dlouhícího trnu (6) a vpuštění vzduchu pro samotné vyfukování. Nahřátá a prodloužená preforma zaujme tvar dutiny formy a za pomoci chladícího media, vedeného formou, chladne. A právě zde začíná komplikace, neboť při snižování teploty

takto plastického tělesa musí nutně docházet ke smršťování materiálu. Nejvíce materiálu je na dně formy a právě tam lze také smrštění nejvíce pocítit. Plast přilne k tvarovanému dnu formy (II) a drží na něm silově.

V momentě, kdy je chladicí cyklus ukončen, se otevírají dveře (7), dno začíná sjíždět dolů a naopak vyjíždí vyhazovač (5), který má za úkol odstranit hotovou láhev z prostoru formy. Smrštěné dno láhve ovšem zůstane spojené se dnem formy, čímž vzniká tah po celé délce láhve, největší však v nejužším místě, což je právě hrdlo láhve. Za hrdlo je ale zároveň láhev uchopena vyhazovačem a má být vymrštěna mezi hotové láhve. Spodní část láhve ovšem ve formě drží tak pevně, že vyhazovač způsobující boční sílu láhev ohne ve směru svého pohybu a tím ji znehodnotí.

Dalším problémem je těsnění pístu (III). To při dané frekvenci pohybů nevyhovuje svou životností. Byla vyzkoušena řada tradičních i méně obvyklých materiálů těsnění, ale životnost nebyla nikdy vyhovující, což má vždy za následek vynucenou opravu zařízení a tím i zastavení výroby. Tento problém byl dočasně vyřešen přidáním druhého těsnícího kroužku na stejný píst. Ani tato úprava však neprodlouží životnost těsnění na dvojnásobek, jak by se dalo očekávat.



Obr. 1.3 Uchycení preformy před vyfukováním [7]

2 Technologie vyfukování, výroba dutých těles

Dutá tělesa, jako jsou láhve, kanistry, sudy a jiné, se nejčastěji zhotovují vyfukováním. Způsobem přípravy preformy (parizonu) se, dle [1], rozděluje na vytlačovací vyfukování a vstřikovací vyfukování.

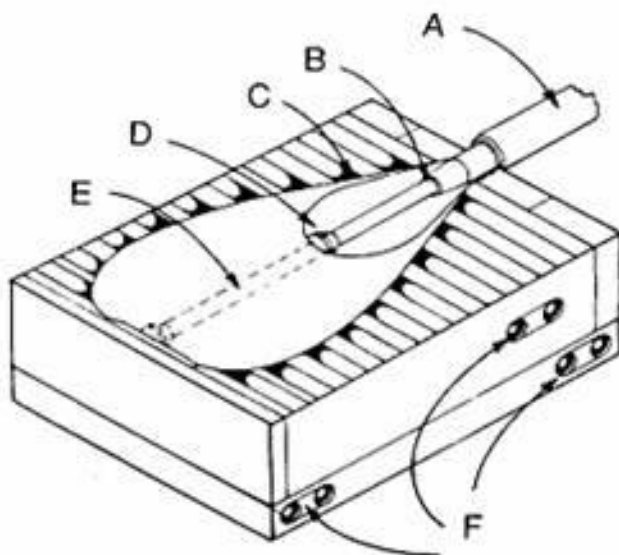
Dle [1] vytlačovací vyfukování navazuje na vytlačování, přičemž se na vytlačovacím stroji s příčnou hlavou a s kruhovou hubicí vytlačuje trubka – parizon – potřebného rozměru a tloušťky stěny. Trubka se ještě v plastickém stavu sevře do dělené formy, kam se přivádí tlakový vzduch, který trubku vyfoukne do tvaru daného dutinou formy. Plast se o stěny ochladí a ztuhne a po otevření se dá dutý předmět vyjmout.

V případě vstřikovacího vyfukování se k přípravě parizonu používá technologie vstřikování. Takto vyrobený předlisek včetně dna a kompletního hrdla (bez svařených švů a s řádově větší přesností) se nasadí na trn, pomocí předeřevu se přivede do plastického stavu a následně přenese do formy, kde je shodně s vytlačovacím vyfukováním vyfouknut pomocí tlakového vzduchu.

2.1 Vyfukování s dloužením

Tato technologie je použita na stroji, jehož problematikou se tato práce zabývá. Dle [4] lze dloužením zvýšit průhlednost, pevnost, houževnatost a snížit propustnost pro plyny a páry. Princip výroby spočívá v tom, že je předlisek (ať už vstřikovaný nebo vytlačovaný) před vyfouknutím temperován na vhodnou teplotu v kaučukovité oblasti (pro PP 150 až 155 °C, pro PET 90 až 95 °C). V našem případě na vyšší z těchto dvou, protože z pece padá volným

pádem spádovým potrubím k formě a je ochlazován okolním vzduchem. Poté je ve formě prodloužen a vyfouknut. Tato technologie slouží především pro výrobu lahví o malých objemech (do max. 2 l).



- A - vyfukovací a dloužící
jehla
- B – přívod vzduchu
- C – odvzdušnění nástroje
- D – předlisek
- E – nadloužený tvar
- F – chladicí kanály

Obr. 2.1 Výroba dutých těles dloužením [4]

2.2 Stroje a zařízení pro výrobu dutých těles

Požadavky na strojní zařízení jsou dle [4] následující: regulovatelná teplota komory a minimální kolísání teploty taveniny, vytlačovací hlava musí umožňovat správné nastavení tloušťky, snadná výměna hubice, šnek musí pracovat bez pulsací, aby nebyly v preformě bubliny a byl konstantní průřez. Zavírací mechanismus musí umožňovat co nejjednodušší výměnu forem a nesmí pootevřít nástroj během vyfukování. Zařízení pro vyfukování dutých těles se skládá ze šnekového vytlačovacího stroje vybaveného příčnou vytlačovací hlavou s kruhovou hubicí a z vyfukovací jednotky, sestávající z vyfukovacího mechanismu včetně formy.



Obr. 2.2 Příklad vyfukovacího stroje [4]

Stroje pro vyfukování se dělí na stroje se zásobníkem (přerušovaný provoz - poloautomatický) a stroje bez zásobníku (automatický provoz). Podle pohybu formy se vyfukovací stroje dělí na stroje s vertikálním nebo horizontálním pohybem.

Pro vytlačování plastů s malou teplotní stabilitou, např. PVC, je dle [4] výhodnější vertikální stroj, který je ukončen přímou hlavou, kde jsou poměry pro tečení příznivější. Šneky mívají jen krátkou dopravní a kompresní část, ale dlouhou část hnětací. Celková délka šneku je 15 až 20-ti násobek průměru šneku. Plastikační kapacita vytlačovacího stroje musí být v souladu s kapacitou vyfukovací jednotky.

Množství vytlačeného plastu závisí na konstrukci stroje, geometrii šneku, plastu a technologických podmínkách. U moderních strojů je možné měnit tloušťku stěny preformy v závislosti na jeho délce – duté těleso nepravidelného

tvary nebo těleso s proměnnou tloušťkou stěny. Tu lze měnit buď axiálním pohybem trnu v hubici, nebo naopak pohybem hubice při konstantní poloze trnu, což je řízeno mikroprocesorem.

Další možností je přitlačování prstenců v hubici na preformu a tím změna tloušťky. Při nastavování rozměru preformy se musí pamatovat na to, že tavenina plastu vlivem stlačitelnosti zvětšuje svůj objem, což se projeví zvětšením objemu i tloušťky. To závisí na technologických podmínkách – teplotě a tlaku. Zvětšení rozměrů dosahuje až několika desítek procent.

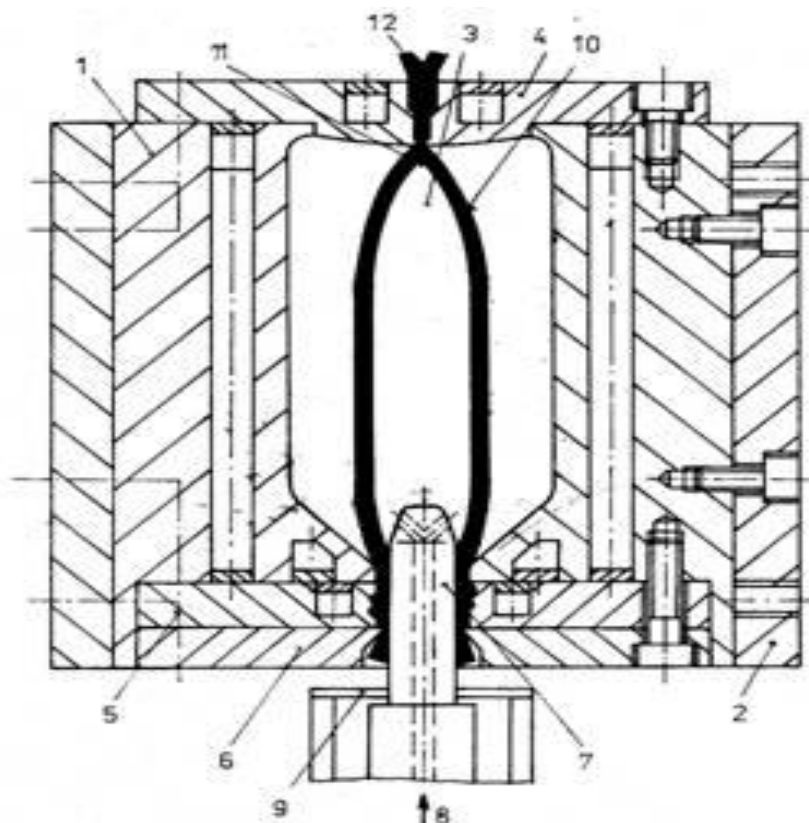
2.3 Nástroje pro vyfukování

Vyfukovací formy je dle [4] možné podle velikosti výrobku a použitého materiálu a zařízení konstruovat jako jednonásobné nebo vícenásobné. Formy pro menší výrobky jsou dvoudílné a pro větší výrobky mají tvarové díly složeny z více částí. Řez vyfukovací formou znázorňuje obrázek 2.3.

Protože z celkové doby pracovního cyklu představuje doba chlazení nejdelší úsek (uvnitř výrobku není dobrý vodič tepla), chlazení je provedeno buď cirkulující vodou, nebo pomocí vnitřního chlazení vodní mlhou, kapalným dusíkem, CO₂, apod.

Odvzdušnění forem je nutné kvůli malým vyfukovacím tlakům a provádí se proto, aby nedocházelo k vadám jako nedotvarování výrobku, matný lesk, nepravidelné důlky, apod. Ve většině případů stačí k odvzdušnění netěsnosti v dělicí rovině. Pro lepší odvzdušnění se do vyfukovací formy umísťují

odvzdušňovací štěrby nebo odvzdušňovací válcové vložky se sraženou hranou nebo šestihranem.



Obr. 2.3 Řez vyfukovací formy [1]

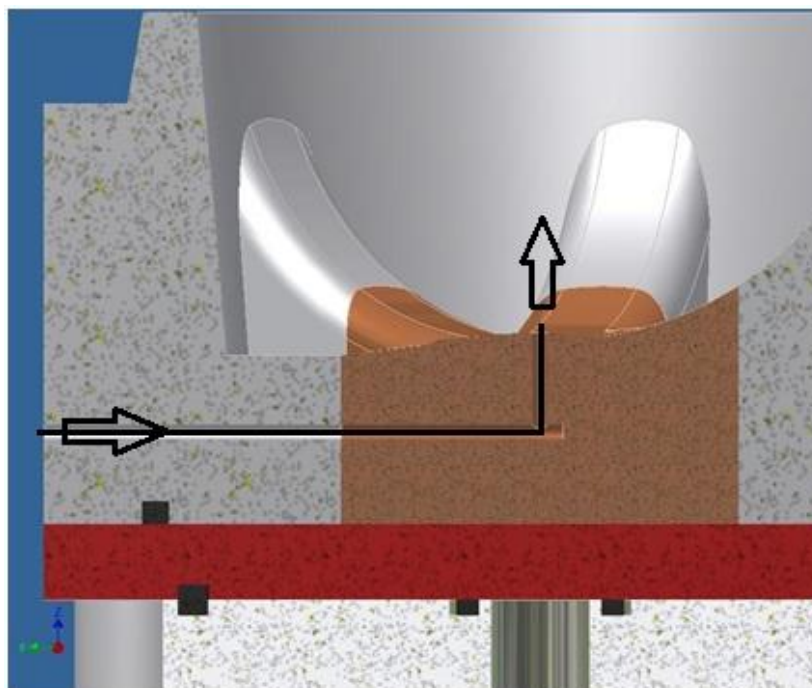
1 – tvárnice, 2 – upínací deska, 3 – dělící rovina, 4 – dno, 5 – hrdlo, 6 – kalibrační deska, 7 – trn, 8 – vzduch, 9 – stírací deska, 10 – parizon, 11 – svar, 12 – přetok

3 Možné způsoby řešení

Řešení problému spočívá v jiné koncepci přísuvu dna, ať už zcela jinou konstrukcí nebo jen vylepšením té stávající. Je však potřeba dodržet čas pracovního cyklu, zabezpečení nehybnosti dna v době vyfukování láhve, spolehlivost a trvanlivost mechanismu. Dalším významným kritériem je i ekonomika výroby a její rentabilita.

3.1 Vrtání dna formy

Jednalo by se o úpravu stávajícího řešení - kapitola 1. Do dna formy by se zhotovily např. 3 otvory velmi malého průměru, které by sloužily k průchodu vzduchu, jenž by pomohl uvolnit dno hotové láhve od posuvného dna formy. Jako zdroj vzduchu by se použil zbytkový vzduch, který sloužil jako zámek dna formy nebo vzduch z prostoru formy.



Obr. 3.1 Návrh způsobu vrtání dna formy

Při tomto řešení je nutné zajistit, aby vrtané otvory nenarušily frézované drážky na spodní straně dna formy, které slouží pro průchod chladicího média. Speciální těsnění proti úniku vzduchu z takto vrtaných drážek není třeba, jelikož se již jedno těsnění nachází mezi "červeným a měděným" dílem (obr. 3.1).

Je samozřejmě více možností jak efektivně přivést vzduch takto vrtanými otvory, ale nejjednodušší je otvor přímý. Vzduch by se do prostoru drážek přivedl v počáteční fázi cyklu spouštění dna. Samotné přivedení může být realizováno odpadním vzduchem pneumomotoru, vzduchem ze vzdušníku nebo jiným externím zdrojem vzduchu.

Výhodou této konstrukce bude jistě jednoduchost, ponechání konstrukčních rozměrů a zástavbových nároků zařízení. V případě přívodu vzduchu z pneumomotoru bude i větší využitelnost vzduchu.

Toto řešení je ovšem problémem technologie a souvisí s řešením řízení programovatelného automatu vyfukovacího stroje, je tedy nad rámec této práce.

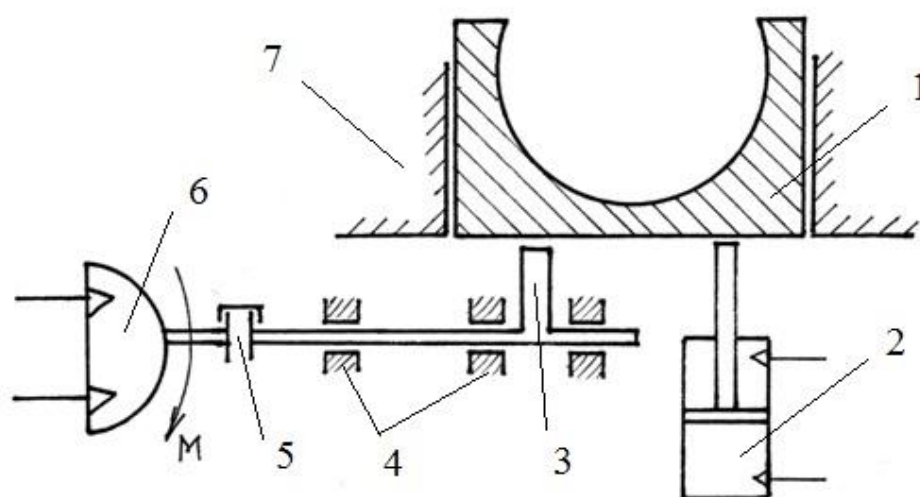
Tímto ale není odstraněn druhý problém. Tím je odírání těsnění pístu pro zajištění polohy dna (III) (obr. 1.2). O tom je pojednáno dále.

3.2 Zajištění pomocí kyvného pneumomotoru

V tomto případě by se jednalo o přisunutí dna formy pomocí malého přímočarého pneumomotoru. Přisouvalo by se pouze dno, bez jakýchkoli dalších částí, které byly nezbytné v konstrukčním řešení popsaném v úvodní

kapitole. Konkrétně o díl (III), který je na obrázku 1.2. Díl IV bude sloužit jako vedení dna. Následně by bylo zajištěno pomocí vačky upevněné na hřídeli, která bude spojená s hřídelí kyvného pneumomotoru.

Tento motor bude v provedení s kyvnou hřídelí a bude se pohybovat z jedné krajní polohy do druhé. Hřídel motoru nebude namáhána jinak, než momentem setrvačnosti vačky, takže není třeba výkonný, velký nebo drahý motor. A hřídel s vačkou bude dimenzována na ohyb, který vznikne při vyfukování. Přímočarý pneumomotor bude po celou dobu vyfukování v horní poloze, aby při odjištění dna vačkou nedošlo k volnému pádu této části na pístnici přímočarého motoru.



Obr. 3.2 Vačková konstrukce s kyvným motorem

1 - dno formy, 2 - přímočarý PM, 3 - vačka, 4 - ložiska, 5 - spojka, 6 - kyvný PM, 7 - forma

Pro docílení lepšího rozložení sil, mohou být použity dvě vačky na krajích dna spojené jednou hřídelí. Přímočarý motor bude působit uprostřed dna, aby

nedocházelo k excentricitě a tím zbytečnému opotřebení vedení. Hřídel spojující vačky tedy nemůže být přímá, protože by došlo ke střetu s pístnicí motoru. Bude provedena jako kliková.

Výhodou je, že mezi částmi namáhanými pracovním tlakem vyfukování nebude žádný pneumatický prvek, ale pouze ložiska hřídele s vačkou. Přímočarý pneumomotor, ač v horní poloze, bude díky stlačitelnosti vzduchu nejvýše na úrovni vačky. Kyvný motor, spojka, hřídel, ložiska a vačky nemusí být masivní konstrukce, tudíž nebudou zabírat neúměrně velký prostor pod formou.

Nevýhodou je použití kyvného motoru, který bude dalším prvkem vyžadujícím kontrolu, popřípadě možnou příčinou vzniku poruchy. Dále užití ložisek a spojky, které budou lehce snižovat účinnost. Také upevnění kyvného motoru a ložisek, které budou vyžadovat nějakou základnu. Pořízení všech částí vačkového systému pak bude dražší než zhotovení válce (III) z obr. 1.2.

3.3 Mechanická pojistka ovládaná pneumaticky

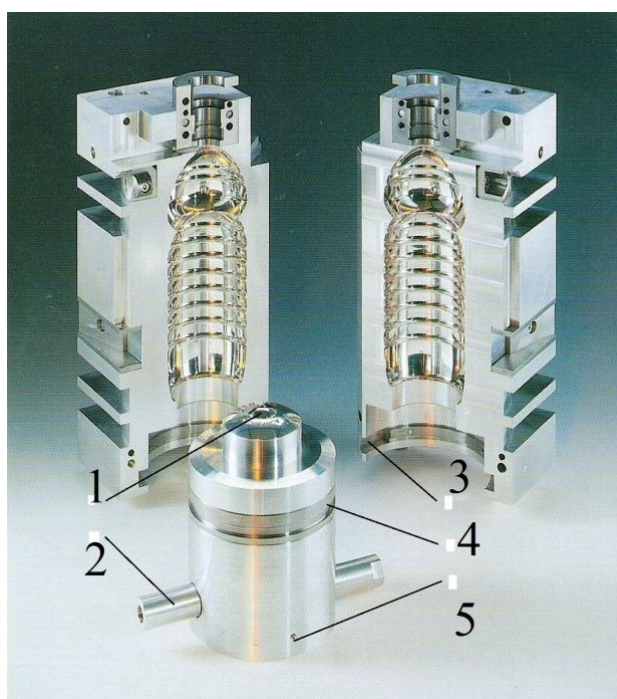
V této koncepci bude užit speciální díl ve tvaru válce, který v sobě bude mít dno formy, mechanickou výsuvnou pojistku a přívod tlakového vzduchu pro ni a drážku pro uchycení mechanismu, který bude připojen na přímočarý motor a konat přísuv celého válce.

Ke drážce (4) (obr. 3.3) bude uchycena objímka ovládaná přímočarým pneumomotorem, který zajistí přisunutí válce (dna formy). V momentě, kdy dojde k zajištění dveří stroje pomocí zámku (3), dostane signál rozvaděč a

vpustí tlakový vzduch do přívodu válce (1), který zajistí vytlačení mechanické pojistky v podobě malých válečků (2). Tyto válečky zapadnou do drážky formy (3), čímž dojde k zajištění ve směru působení vyfukovací síly.

Vnitřní konstrukce válce může být velmi komplikovaná anebo naopak jednoduchá. To záleží na konkrétním návrhu vnitřní konstrukce. Pro vysouvání pojistky může být použito například pneumatické časové relé. Přívodem tlakového vzduchu (1) může být také ovládán konečný odfuk dna láhve ode dna formy.

Výhodou této konstrukce je jistě líbivé, elegantní a moderní řešení. Jelikož firma kromě výroby láhví prodává také samotný vyfukovací stroj, mohlo by se jednat o významný designový faktor ovlivňující konečné rozhodnutí zákazníka. Také se jedná o spolehlivou variantu řešení daného problému, pokud bude uvnitř válce jen jednoduchý rozvod tlakového vzduchu, pak i nekomplikovanou. Při použití přímočarého válce s vedením, který obslouží přísuv dna, nebude nutné použít vedení.



- 1 - přívod tlakového vzduchu pro vysunutí pojistky
- 2 - mechanická pojistka
- 3 - drážka ve formě pro zakotvení pojistky
- 4 - drážka pro objímku na přímočarý motor
- 5 - vrtaná díra pro odfuk vzduchu

Obr. 3.3 Válec s mechanickou pojistkou [6]

Nevýhodou by mohlo být poněkud masivnější provedení jak samotného tělesa, tak přímočarého pneumatického válce s vedením a možná i cena tohoto mechanismu.

3.4 Aretace dna pomocí pružin

V tomto případě se jedná o jednoduché zajištění polohy dna formy v horní poloze pomocí silných pružin. Opět se jedná o válec, který v sobě má dno formy. Je opatřen věncem (1) (obr. 3.4), který slouží jako doraz na spodní část formy a zabraňuje tak dalšímu pohybu válce nahoru. Pro pohyb celého prvku slouží přímočarý pneumomotor, jehož pracovní cyklus je opačný než v předchozích případech.

Klidová (výchozí) pracovní poloha pneumatického válce je při vysunuté pístnici a pracovní zdvih se koná směrem dolů. V pohybu válce brání silné pružiny (2), které mají za úkol držet dno nahoře v době, kdy je vyfukována láhev. Motor tedy musí přetlačit sílu všech pružin na takovou dobu, aby mohlo dno sjet dolů a vyhazovač odstranit láhev z prostoru formy.

Výhodou této konstrukce je jednoduchost, užití levných, snadno vyměnitelných a dostupných částí. Minimální potřeba údržby a nepotřeba vedení válce.

Nevýhodou může být vyšší hlučnost, jelikož pružiny musí mít velkou sílu, aby vymrštily válec vzhůru, a ten pak prstencem narazí na dno formy. Hlučnost lze částečně snížit použitím pneumatického válce s tlumením dojezdu v krajní poloze, čímž se zamezí i případnému poškození samotného válce.



1 - věnec

2 - pružiny s tlumičem

Obr. 3.4 Zajištění polohy dna pomocí pružin [8]

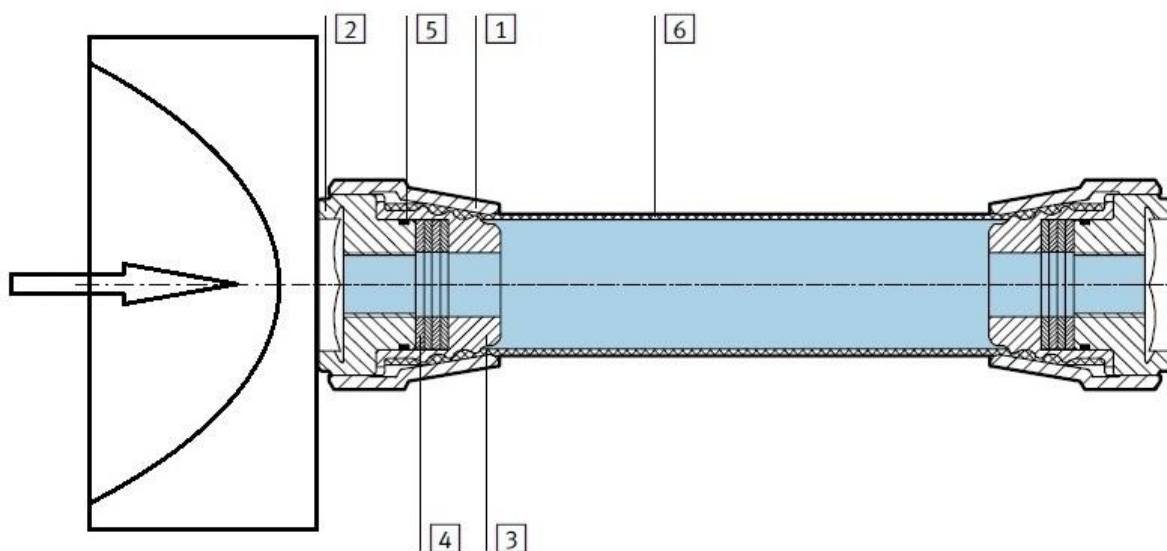
3.5 Fluidní svaly

Fluidní sval je speciální pneumatický prvek, který je do jisté míry schopen nahradit přímočarý pneumatický motor. Tato moderní strojní součást je vyráběna firmou Festo, od níž jsou použity veškeré prvky ve vyfukovacím zařízení.

V nejjednodušším případě pracuje fluidní sval jako jednočinný akční prvek s konstantní zátěží. Jestliže je tato zátěž trvale připojena ke svalu, bude se v expandovaném stavu natahovat ze své klidové polohy. S ohledem na technické vlastnosti svalu je tento druh provozu ideální.

Dle [10] dosahuje takový natahovací sval maximální síly při optimální dynamice a nejnižší spotřebě vzduchu. Rovněž užitečný zdvih je v tomto případě maximální. Při změně vnější síly se sval chová jako pružina - vyvolává

síly. U svalů lze ovlivnit jak předpětí této "pneumatické pružiny", tak i jeho tuhost. Sval lze s funkcí pružiny provozovat s konstantním tlakem nebo konstantním objemem.



Obr. 3.5 Řez fluidním svalem [10]

1 - převlečná matice, 2 - příruba, 3 - vnitřní kužel, 4 - talířové pružiny,

5 - těsnící kroužek, 6 - membrána

Výhodami tohoto řešení bude nízká hmotnost, dobrá bilance spotřeby vzduchu, minimální zahřívání svalů při správném návrhu a tím i dlouhá životnost. Jednoduchá výměna svalů a prakticky žádná údržba. Rychlost a spolehlivost prvku. Jednoduché a moderní řešení daného problému.

Nevýhodami naopak nutnost vedení dna formy, protože membrána (6) (obr. 3.5) je pryžová s několika oplety a není tedy vhodná jako nosný prvek.

Dále potřeba více svalů na jedno dno, neboť jsou schopné přenášet max. osovou sílu 6000N. A konečně i dostatečně tuhá základna pro ukotvení svalů.

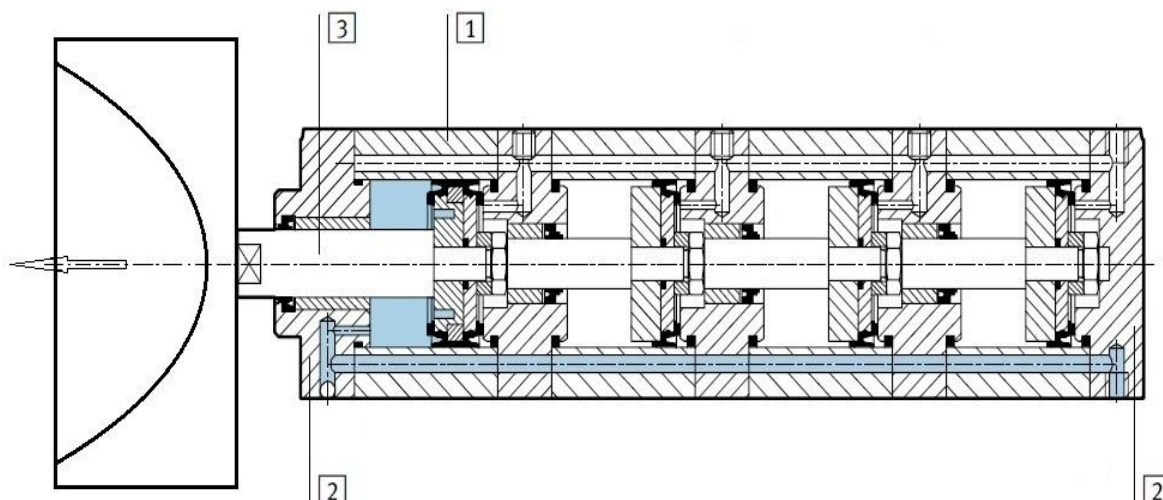
3.6 Tandemový válec

Jedná se o sériové zapojení několika přímočarých válců a jejich vzájemné propojení jedinou pístnicí. Silový účinek, ale i spotřeba vzduchu, se sčítá. Předpokladem pro toto uspořádání je stejný průměr pístu a zdvih všech válců.

Při přivedení tlakového vzduchu na vstup se médium dostane pod všechny čtyři písty stejně rychle a dojde k plynulému vysouvání pístnice (přísuv dna do pracovní polohy). Vzduch bude muset být přiveden hadicí o dostatečné světlosti a tloušťce stěny, aby se zajistil plynulý, ale přitom rychlý odběr tlakového vzduchu ze vzdušníku.

Toto řešení se svou elegantností, jednoduchostí a parametry jeví jako nejlepší. Nebude třeba žádných speciálních konstrukcí a pružin, případně jiného zajištění dna v pracovní poloze. Tandemový válec je schopen s přehledem vyvinout dostatečně velkou sílu pro zdvižení a udržení dna při probíhajícím procesu vyfukování.

Vedení pístnice bude zajištěno speciálním vedením, které vyrábí firma SMC. Vedení je normalizované pro pneumatické válce ISO/VDMA, tudíž je bude možné nainstalovat i na válce Festo. Tímto vedením zamezíme pootočení formy (pístnice) kolem své osy, které by mohlo vést ke vzpříčení při uzavírání formy. Také docílíme vyšší tuhosti a s ní spojené stability a přesnosti přísuvu dna.



Obr. 3.6 Řez tandemovým válcem [11]

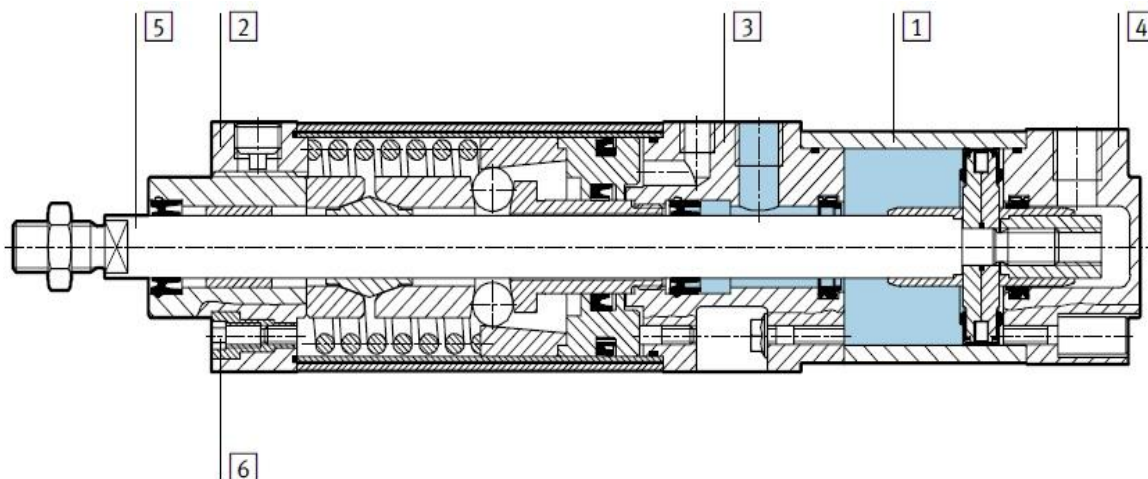
1 - těleso, 2 - přední a zadní víko, 3 - pístnice

3.7 Válec s brzdou

Jedná se o přímočarý pneumatický válec s mechanickou brzdou přímo uvnitř válce, která je ovládána pneumaticky zvláštním přívodem vzduchu. Po vysunutí pístnice se přivede tlakový vzduch na objímku, která přes další mechanismus vyvolá brzdnu sílu. Brzda svou konstrukcí připomíná brzdu bubnovou.

Toto řešení by bylo nejvhodnější, kdyby brzdná síla byla dostatečně velká. Bohužel tímto způsobem je možné brzdit zátěž vyvolující sílu maximálně 8000 N, navíc tato hodnota platí pouze pro statický účinek síly. Při dynamickém účinku síly a jiných vlivech se schopnost brzdy snižuje.

Vzhledem k poměrně velké stlačitelnosti vzduchu by nám nepomohlo ani případné uzavření přívodu média pod objímku. Museli bychom použít speciální externí brzdny systém, což by ve výsledku bylo mnohem komplikovanější než jiná, dříve uvedená konstrukční řešení. Pro náš případ je tedy tato konstrukce nepoužitelná.



Obr. 3.7 Řez válcem s brzdou [12]

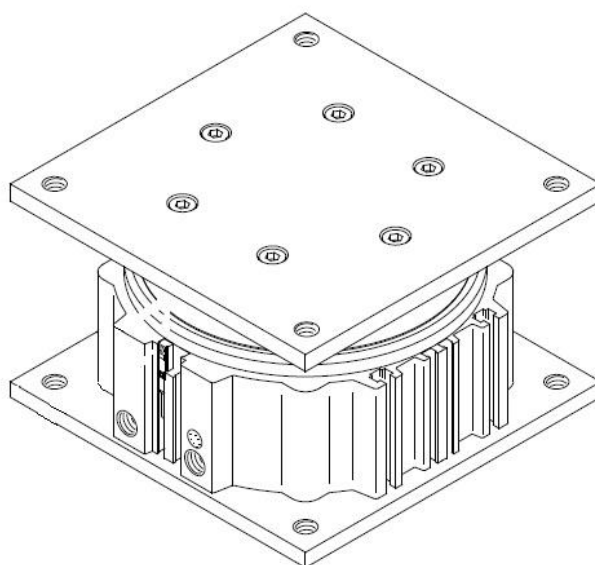
1 - těleso, 2 - přední víko, 3 - připojovací víko, 4 - koncové víko, 5 - pístnice,

6 - spojovací šrouby

3.8 Stůl s vedením

Tyto stoly mají čtvercovou pracovní plochu cca 100 mm² a zdvih od 30 do 100 mm. Vedení je masivní a dává stolu výtečnou tuhost. V pracovní desce jsou vyvrtány otvory a je tedy možné přišroubovat další příslušenství a potřebné mechanismy, v našem případě by se na pracovní plochu přišroubovalo celé dno formy.

Bohužel stoly s vedením nejsou určeny pro "silové operace", ale spíše jako mezioperační stanice, na kterých se odehrává například svařování, montáž, statický přísuv (podávání) a jiné. I v provedení s největším průměrem pístu 100 mm nejsou schopny snést vyšší statickou zátěž než 7800 N. Opět by bylo třeba zajistit speciální pojištění v horní poloze, aby nedošlo k pohybu při vyfukování. Navíc stůl vyžaduje dostatečně tuhou a rozměrnou základnu.



Obr. 3.8 Stůl s vedením [13]

4 Výběr konstrukce a její početní řešení

Ze všech konstrukčních řešení zpracovaných v předchozí kapitole volím pro přísuv dna formy tandemový válec (kapitola 3.6). Tandemový válec jsem vybral na základě převažujících výhod, kterými jsou:

- kompaktní a jednoduché řešení s dostatečnými silovými i rychlostními parametry
- možnost instalovat vedení přímo na válec
- sériovost tohoto prvku
- těsnění je dostatečně dimenzováno, nebude docházet k předčasnému opotřebení, odpadá výběr materiálu těsnění
- velmi jednoduchá výměna válce

4.1 Silové poměry na válci

Při výpočtu síly potřebné pro udržení dna v pracovní poloze (při vyfukování) vycházím z rovnováhy sil a momentů. Protože se však v našem případě jedná a přímočarý vratný pohyb (pohybuje se pouze pístitnice nahoru a zpět), nebudou žádné momenty působit. Síla, kterou tandemový válec vyvine, musí být větší než součet všech působících sil proti válci.

Podmínky pro potřebnou sílu pak budou vypadat takto:

$$\sum F = 0 \text{ a } \sum M = 0 : \quad (4.1)$$

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0 \text{ a } \sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0. \quad (4.2)$$

V ose x a y k žádným silovým účinkům nedochází. Stejně tak v celém souřadném systému nepůsobí kroutící, ohybový nebo jiný moment síly. Silový účinek v ose z :

$$\sum F_z = 0 : \quad (4.3)$$

$$F_{TV} - F_p - G - F_t \geq 0, \text{ kde:} \quad (4.4)$$

F_{TV} – síla tandemového válce

F_p – zatížení válce – síla vyvozená pracovním tlakem při vyfukování

G – tíhová síla hmotné zátěže na tandemovém válci (hmotnost dna formy)

F_t – pasivní odpory (lze zanedbat)

Jednotlivé složky budou dále rozpracovány v samostatných kapitolách.

4.2 Síla vyvozená pracovním tlakem - F_p

Pro vyfukování lahví byl zvolen tlak 2,5 MPa. V nejširším průřezu má průměr dna formy rovných 90 mm. Síla působící na dno formy tedy bude:

$$p = \frac{F_p}{S} \rightarrow F_p = p \cdot S = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4.5)$$

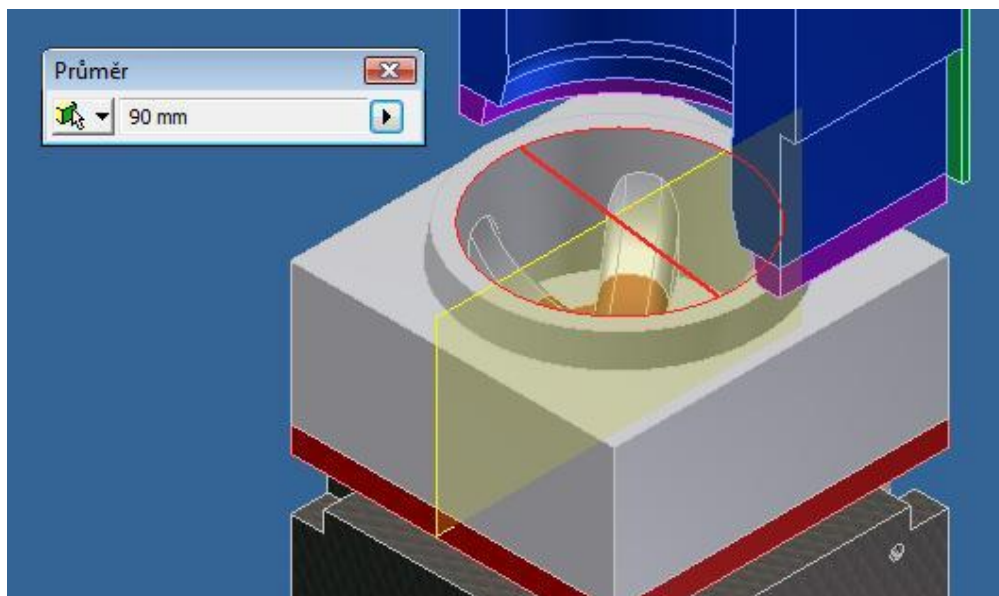
$$F_{p1,5} = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 25 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4} = 15\,904,313 \text{ N} \quad (4.6)$$

Všechny vyfukovací stroje tohoto typu jsou ovšem standardně vyráběny s vyměnitelnou formou a to nejen z pohledu výroby jiné láhve téhož objemu, ale

také pro výrobu lahví jiných objemů až do 2 l. Konečná výrobní řada lahví, z ekonomických důvodů, je od 0,5 l do 2 l.

Je tedy nutné uvažovat, že přijde požadavek na výrobu láhve tohoto objemu, která bude mít větší rozměry, a tedy i větší průřez dna formy. Pro 2 l láhev budu uvažovat průměr 105 mm v nejširším průřezu dna:

$$F_{p2} = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 25 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,105^2}{4} = 21\,647,537 \text{ N} \quad (4.7)$$



Obr. 4.1 Odměření průměru formy pro 1,5 l láhev v nejširším průřezu

4.3 Tíhová síla hmotné zátěže

Jako na každé reálné těleso bude i na dno formy působit zemská přitažlivost. Je tedy nutné tuto zátěž zahrnout do výpočtu, jelikož hmotnost samotného dna se podílí na zatížení pístnice.

Dno bylo zváženo digitální vahou a bylo naměřeno $m_d=3,1$ kg. Je však třeba vzít v úvahu také vedení pístnice a spojovací materiál - volím hmotnost $m_s=2,5$ kg. Síla působící na pístnici se vypočítá:

$$G = m \cdot g \quad (4.8)$$

$$G = (m_d + m_s) \cdot g = (3,1 + 2,5) \cdot 9,81 = 54,936 \text{ N} \quad (4.9)$$

Vypočtená síla se nebude významně podílet na zatížení válce. Opět platí, že v případě výroby větších láhví se zvětší i dno formy. Tím i jeho hmotnost a to nejen v závislosti na objemu materiálu, ale i na případné změně materiálu.

4.4 Výpočet potřebné síly pohonu pro přísuv dna

Po zanedbání pasivní odporů dosadíme jednotlivé složky zátěže do rovnice pro rovnováhu sil v ose z:

$$F_{TV} - F_p - G \geq 0 \quad (4.10)$$

$$18281 - 15904,313 - 54,936 \geq 0$$

$$2321,751 > 0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Celková síla působící při probíhající vyfukování tedy nepřesáhne sílu, kterou vyvodí tandemový válec. Silová rezerva válce je dostatečně velká, aby bez problémů udržela dno v pracovní poloze.

Dle [11] volím tandemový válec **ADNH-100-30-A-P-4N**.

Na první pohled je patrné, že síla působící proti pístu válce při vyfukování 2 l láhve je větší než maximální síla, kterou může válec při 0,6 MPa vyvinout. Válec je ovšem konstruován na medium o tlaku 1 MPa.

Při výrobě 2 l láhví se tedy nesmí zapomenout zvýšit tlak vzduchu, aby válec dále spolehlivě plnil i funkci pojistky proti odsunutí dna formy. Například při tlaku 0,8 MPa je síla $F_{TV} = 24\,362\text{ N}$ a při 1 MPa dosahuje hodnoty 30 485 N. Rezerva tandemového válce je tedy dostatečná i pro výrobu 2 l láhví.

4.5 Síla tandemového válce - F_{TV}

Jedná se o sílu působící ve směru vysouvání pístnice. Výsledná síla je součtem sil vyvozených působením tlakového vzduchu na všechny 4 písty. Současně bylo při jejím výpočtu zahrnuto působení pasivních odporů ve válci, tedy těsnění na pístech a těsnění pístnice.

Dle [11] je teoretická síla pístnice při pohybu vpřed a tlaku vzduchu 0,6 MPa rovna 18 281 N. Síla při pohybu vzad je čtvrtinová (pouze jeden píst), přesně 4 417 N, a není doporučeno ji využívat jako pracovní.

Řešení tandemovým válcem jsem zvolil také proto, že síla vyvozená na pístnici by měla být dostatečně velká pro udržení dna formy v pracovní poloze bez nutnosti použít jakoukoli mechanickou pojistku proti odsunutí dna (pružinu, vačku a jiné).

Pasivní odpory tandemového válce (těsnění pístů a pístnice) není třeba uvažovat. Firma Festo uvádí, že pasivní odpory se pohybují až do 10% z teoretické síly tandemového válce. Tyto odpory nevadí při pohybu pístnice, což se v našem případě děje jen při přísuvu a odsuvu dna. Pasivní odpory nebudou představovat žádnou zátěž pro zvolený tandemový válec při procesu vyfukování, neboť válec je v té době v klidu.

4.6 Spotřeba vzduchu tandemového válce

Spotřebou vzduchu se rozumí celkový objem tlakového vzduchu potřebný pro konání práce motoru za jednotku času. V praxi se používá $dm^3 \cdot min^{-1}$, neboli $l \cdot min^{-1}$.

Požadavkem na tandemový válec je 4,5 s na jeden pracovní cyklus, tedy přísuv dna do pracovní polohy (vyfukování, dloužení, chlazení) a zpět do výchozí polohy. Je tedy potřeba vypočítat počet cyklů (frekvenci) válce za minutu:

$$f = \frac{60}{t_c} = \frac{60}{4,5} = 13, \overline{33} \cong 13,3 \text{ cyklů/min} \quad (4.11)$$

V našem případě je tandemový válec složen ze čtyř dílčích válců propojených jednou pístnicí. Pro pohyb pístnice vpřed se dle [11] plní vzduchem všechny čtyři komory, avšak pro pohyb vzad se plní pouze jedna. Celková spotřeba vzduchu v čase je pak součtem všech objemů plněných tlakovým vzduchem při daném počtu cyklů. Posledním pístem válce ovšem neprochází pístnice skrz, proto má 4. komora větší objem.

Pro výpočet objemu komor je zapotřebí znát průměr pístu a pístnice tandemového válce a pracovní zdvih. Průměr pístu (D) = 100mm, zdvih (h) = 30mm, průměr pístnice (d) = 25mm. Objem vzduchu potřebný při vysouvání pístnice - 3 písty s průchozí pístnicí a 1 píst bez průchozí pístnice:

$$V_{V3} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h = 3 \cdot \frac{\pi \cdot (0,1^2 - 0,025^2)}{4} \cdot 0,03 \quad (4.12)$$

$$V_{V3} = 6,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{zdvih} = 0,662 \text{ dm}^3/\text{zdvih}$$

$$V_{V1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{0,1^2}{4} \cdot 0,03 = 2,36 \cdot \frac{10^{-4} \text{ m}^3}{\text{zdvih}} = 0,236 \text{ dm}^3/\text{zdvih} \quad (4.13)$$

$$V_V = V_{V3} + V_{V1} = 6,62 \cdot 10^{-4} + 2,36 \cdot 10^{-4} = 8,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{zdvih} \quad (4.14)$$

Objem vzduchu potřebného při zasouvání pístnice:

$$V_Z = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot (0,1^2 - 0,025^2)}{4} \cdot 0,03 \quad (4.15)$$

$$V_Z = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{zdvih} = 0,22 \text{ dm}^3/\text{zdvih}$$

Celkový potřebný objem vzduchu:

$$V_C = V_V + V_Z = (8,98 + 2,2) \cdot 10^{-4} \sim 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{zdvih} \quad (4.16)$$

$$V_C = 1,12 \text{ dm}^3/\text{zdvih}$$

Spotřeba vzduchu při normálních podmínkách:

$$Q_N = V_C \cdot f \cdot \frac{p_1}{p_0} = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 13,3 \cdot \frac{7}{1} \sim 0,104 \text{ m}_N^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.17)$$

$$Q_N = 104,2 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

4.7 Schéma a návrh prvků pneumatického obvodu

Při návrhu prvků pneumatického obvodu vyjdu z předpokladu, že z celkového časového pracovního cyklu - 4,5 s - bude na vysunutí pístnice tandemového válce potřeba nejvýše 0,5 s.

Objem stlačeného vzduchu pro zdvih pístů po dobu potřebnou k dosažení koncové polohy pístů definuje průtok vzduchu, který musí projít rozváděčem. Ten pak musí být na tento průtok dimenzován. Dále musí být na tento průtok dimenzována hadice a zbylé prvky.

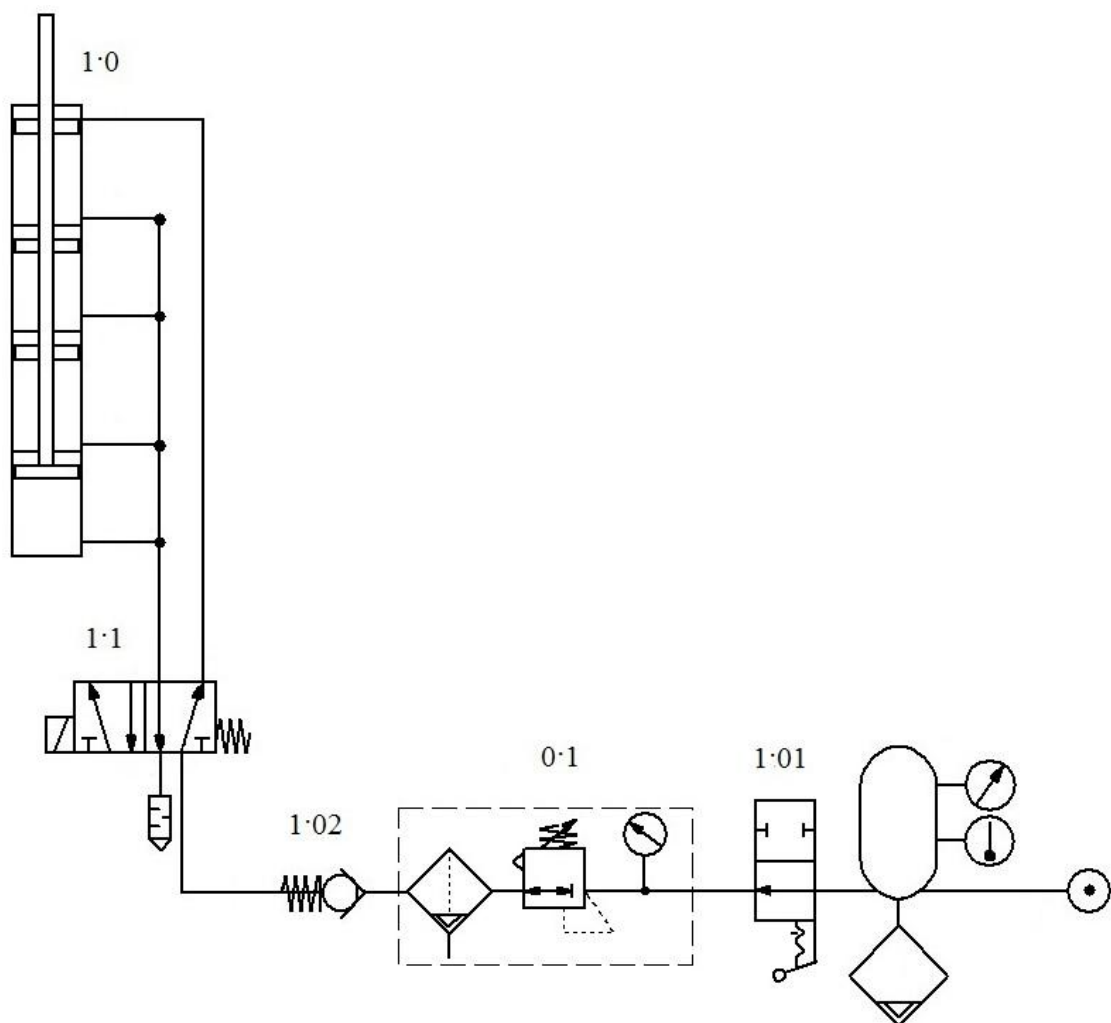
Celý obvod musí být dimenzován pro vyfukování 2 l láhví. V tomto případě totiž bude třeba větší tlak a tím bude i vyšší spotřeba vzduchu. Z

rovnice (4.14) jsem vypočetl objem vzduchu potřebný pro vysunutí pístnice, který je roven $8,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. Průtok vzduchu tedy bude:

$$Q = \frac{V_V}{t} = \frac{8,98 \cdot 10^{-4}}{0,5} = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 107 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.18)$$

Normální průtok při pracovním tlaku 0,8 MPa:

$$Q_N = Q \cdot \frac{p_1}{p_0} = 1,79 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{9}{1} = 0,97 \, m_N^3 \cdot s^{-1} = 970,2 \, dm_N^3 \cdot min^{-1} \quad (4.19)$$



Obr. 4.2 Schéma pneumatického obvodu

Na základě vypočteného normálního průtoku rozváděčem volím tyto prvky obvodu:

0 · 1 – redukční ventil s filtrem Festo: LFRS-1/4-D-MIDI-A

filtrační schopnost 40 μm , normální průtok $Q_{N1}=2000 \text{ l}_N\cdot\text{min}^{-1}$,

regulační rozsah 0,5-12 bar

1 · 0 – tandemový válec Festo: ADNH-100-30-A-P-4N

1 · 1 – rozváděč 5/2 monostabilní Festo: CPE24-5L-3/8

normální průtok $Q_{N2}=2900 \text{ l}_N\cdot\text{min}^{-1}$, požadovaná filtrace 40 μm ,

provozní tlak 2,5-10 bar

1 · 01 – kulový ventil Festo: QH-3/8

normální průtok $Q_{N3}=7500 \text{ l}_N\cdot\text{min}^{-1}$

1 · 02 – jednosměrný ventil Festo: H-3/8-B

normální průtok $Q_{N4}=2000 \text{ l}_N\cdot\text{min}^{-1}$

hadice - SMC (12x1,5): TS1209 BU-20

šroubení – SMC (G3/8→ $\varnothing 12$): KQ2H12-03S

normální průtok $Q_{N5}=5850 \text{ l}_N\cdot\text{min}^{-1}$

šroubení - Festo:

CK-1/4-PK-9

normální průtok $Q_{N6}=3700 \text{ l}_N.\text{min}^{-1}$

šroubení - Festo:

CK-3/8-PK-9

šroubení - Festo:

ACK-3/8-PK-9

tlumič hluku - Festo:

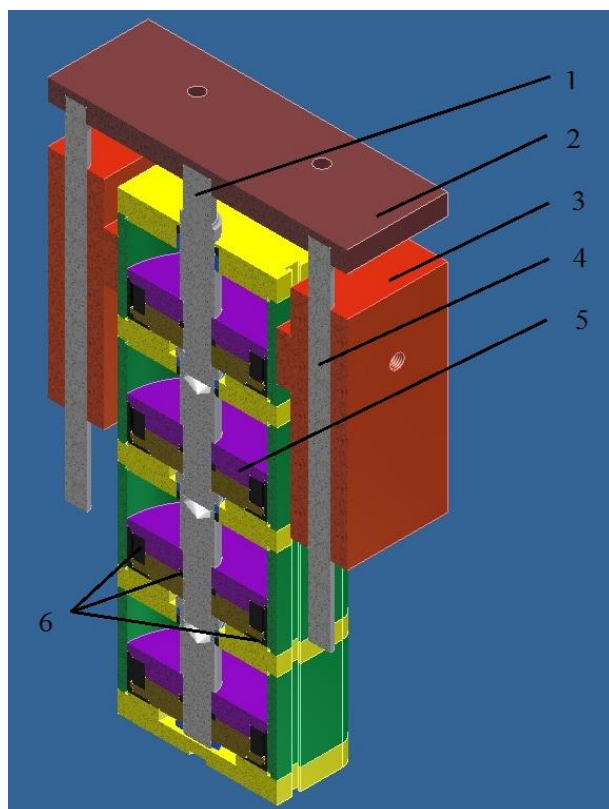
UC-1/4

normální průtok $Q_{N7}=3200 \text{ l}_N.\text{min}^{-1}$, úroveň hluku $<60 \text{ dB}$

vedení válce SMC:

GUL100-30

pro válce dle ISO/VDMA



- 1 - pístnice
- 2 - přípojná deska
- 3 - vedení válce
- 4 - vodící tyč
- 5 - dvoudílný píst
- 6 - těsnění

Obr. 4.3 Řez tandemovým válcem s vedením

4.8 Kontrola průtoku vzduchu systémem

Kontrolu průtoku provedu podle tak zvaného ekvivalentního náhradního průtoku. Dle schématu na obrázku 4.2 jsou prvky v obvodu řazeny sériově. Rovnice pro toto řazení bude dle [2] vypadat:

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{a=1}^i \frac{1}{Q_{Nn}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{Nn1}^2} + \frac{1}{Q_{Nn2}^2} + \frac{1}{Q_{Nn3}^2} + \dots + \frac{1}{Q_{Nni}^2}}} \quad (4.20)$$

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{Nn1}^2} + \frac{1}{Q_{Nn2}^2} + \frac{1}{Q_{Nn3}^2} + \frac{1}{Q_{Nn4}^2} + \frac{1}{Q_{Nn5}^2} + \frac{1}{Q_{Nn6}^2} + \frac{1}{Q_{Nn7}^2}}}$$

$$Q_{Nne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2000^2} + \frac{1}{2900^2} + \frac{1}{7500^2} + \frac{1}{2000^2} + \frac{1}{5850^2} + \frac{1}{3700^2} + \frac{1}{3200^2}}}$$

$$Q_{Nne} = 1093,3 \, dm_N^3 \cdot min^{-1} > 970,2 \, dm_N^3 \cdot min^{-1} \rightarrow VYHOVUJE$$

Tandemový válec se vyrábí se závitem pro připojení pneumatiky G1/8, což by ovšem znamenalo, že se v tomto místě zmaří velká část energie a nikdy bychom nedosáhli požadovaného průtoku. Proto bude nezbytné při jeho objednání požádat o zhotovení závitu G1/4.

4.9 Porovnání spotřeby vzduchu

Po teoretickém zajištění funkčnosti obvodu, a tedy i možnosti použití tandemového válce, je vhodné porovnat spotřebu vzduchu oproti stávajícímu řešení - viz. kapitola 1. Jedná se o jeden z důležitých faktorů posouzení ekonomičnosti.

V tomto případě se jedná o součet spotřeby vzduchu o tlaku 2,5 MPa, který slouží jako pojištění polohy dna formy v pracovní poloze, a spotřeby přímočarého pneumatického motoru, který má za úkol přisouvat dno do pracovní polohy. Tlak 2,5 MPa působí na píst o průměru 100 mm, zdvih pístu je 30 mm:

$$Q_{n1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \cdot f \cdot \frac{p_1}{p_0} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 13,3 \cdot \frac{26}{1} \quad (4.21)$$

$$Q_{n1} = 8,147 \cdot 10^{-2} \text{ m}_N^3 \cdot \text{min}^{-1} = 81,47 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Dvojčinný přímočarý pneumomotor *DSNU-25-60-K3* je od firmy Festo a pracuje při tlaku 0,6 MPa:

$$Q_{n2} = \left(\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot h \cdot f \cdot \frac{p_1}{p_0} \quad (4.22)$$

$$Q_{n2} = \left(\frac{\pi \cdot (0,025^2 - 0,008^2)}{4} + \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \right) \cdot 0,03 \cdot 13,3 \cdot \frac{7}{1}$$

$$Q_{n2} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}_N^3 \cdot \text{min}^{-1} = 2,6 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Celková spotřeba vzduchu je:

$$Q_{nc} = Q_{n1} + Q_{n2} = 81,47 + 2,6 = 84,07 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.23)$$

Rozdíl spotřeby vzduchu v daných případech:

$$\Delta Q_N = Q_N - Q_{Nc} = 104,2 - 84,07 = 20,14 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.24)$$

Na první pohled je zřejmé, že 20 dm_N^3 , které navíc za minutu spotřebuje tandemový válec, mluví v jeho neprospěch. Tento velký rozdíl je dán tím, že pro zpětný pohyb tandemového válce se plní celá komora vzduchem o tlaku 0,6 MPa. Takto vysoký tlak pro zpětný pohyb, navíc ve svislé pracovní poloze válce, není nutný.

Jedním z možných řešení by bylo zapojení redukčního ventilu s obtokem přes zpětný ventil za rozváděč. Tím by se rozdíl ve spotřebě vzduchu úměrně snížil v závislosti na nastavení výstupního tlaku redukčního ventilu. Při nastavení hodnoty pracovního tlaku 0,1 MPa (0,2 MPa absolutně), bude rozdíl ve spotřebě vzduchu obou řešení nulový.

Snížení spotřeby tandemového válce je problematika optimalizace výroby a na samotnou funkci nemá vliv. Pro ekonomický provoz tandemového válce však bude lepší redukční ventil za rozváděč zařadit.

5 Výběr alternativního řešení

Alternativním řešením způsobu přísuvu dna mělo být pomocí užití fluidního svalů, které je, se všemi svými výhodami i nevýhodami, rozpracováno v kapitole 3.5. Bohužel po bližším prostudování funkce fluidního svalů jsem zjistil, že je pro náš případ nevhodný.

Tento pneumatický prvek, vhodný právě pro rychlé, dynamické, přímočaré pohyby, je i v největší možné vyráběné variantě (vnitřní průměr $d=40\text{mm}$) schopný vyvinout maximální teoretickou sílu pouze 6000 N. Ta se dále snižuje s narůstajícím požadovaným zdvihem a zároveň je omezena maximálním dovoleným tlakem 0,6 MPa.

Systém přísuvu dna je nutné dimenzovat pro výrobu 2 l láhví, kde síla vyvozená pružinami musí být, dle výpočtu (4.7), větší než 21 647 N. Fluidní sval musí tuto sílu překonat a krátkodobě odtáhnout dno formy v době, kdy dochází k "vyhazování" hotové láhve z prostoru formy.

Při vnitřním průměru svalů 40mm, pracovním tlaku 6 bar a zdvihu 30mm, by teoretická síla fluidního svalů byla 4000 N a spotřeba vzduchu 4,325 dm³. Jednoduchým výpočtem (5.1) pro počet fluidních svalů - k - zjistíme, že bude potřeba šesti takových fluidních svalů připevněných ke dnu formy. To je ovšem nemožné jak z hlediska prostorových nároků, tak i ekonomických a to nejen kvůli pořizovací ceně, ale i spotřebě pracovního média.

Jeden tento pneumatický prvek, o parametrech uvedených výše, má spotřebu vzduchu 4,325 dm³ na jeden zdvih. Dle (5.2) by pak celková normální spotřeba vzduchu znamenala odběr 181,65 litrů ze vzdušníku. Uvážíme-li, že na každém stroji se láhve vyrábí v páru, což tedy znamená dvě formy a dvě

dna, bude potřeba 12 fluidních svalů na stroj a spotřeba vzduchu by se dostala přes 350 litrů vzduchu na výrobu dvou láhví.

$$k = \frac{F_1}{F_2} = \frac{21650}{4000} = 5,4125 \quad (5.1)$$

$$Q_{n6} = 6 \cdot Q_1 \frac{p_1}{p_0} = 6 \cdot 4,325 \cdot \frac{7}{1} = 181,65 \text{ dm}^3_N / \text{zdvih} \quad (5.2)$$

Dalším problémem je délka fluidního svalu, která pro výše definovaný sval o teoretické síle 4000 N dosahuje 511 mm bez příslušenství nutného k ukotvení jeho konců k základně a dnu formy. Délkou fluidního svalu můžeme ovlivnit jeho maximální osovou sílu. Nejvyšší možná dosažitelná teoretická síla je 5700 N při délce svalu 2103 mm. Touto cestou tedy není možné snížit počet svalů, jelikož samotná forma pro láhve se nachází ve výšce 0,75 m nad zemí. Ale také dochází k neúměrnému zvýšení spotřeby vzduchu takto dlouhého prvku, a to na 15,9 dm³/zdvih pro jeden takový sval.

Fluidní sval, přestože vyniká svými vlastnostmi a originalitou, není z mnoha podstatných důvodů vhodný pro mé konkrétní zadání.

6 Závěr

Navrhl jsem pneumatický přísuv dna formy stroje pro výrobu 1,5 l PET láhví. Tyto stroje jsou určeny pro výrobu láhví o objemech od 0,5 l do 2 l, při návrhu jsem zohlednil možnost výroby láhve o objemu 2 l a prvky pneumatického obvodu dimenzoval na požadovaný tlak pracovního vzduchu a normální jmenovitý průtok.

Jako pohon pro přísuv dna jsem ze všech uvedených možností zvolil tandemový válec od firmy Festo. Jedná se o sériový kompaktní pneumatický prvek s dostatečnými silovými i rychlostními parametry. Volbou tohoto prvku jsem vyřešil dva problémy předchozího řešení - vedení při posuvu a těsnění.

Jelikož se jedná o válec dle normy ISO/VDMA, je možné na něj dodatečně nainstalovat vedení, které vyrábí firma SMC. Vedení válce zamezí především možnému pootočení pístnice kolem své osy a tudíž i formy dna, která má obdélníkový půdorys.

Tandemový válec je vybaven všemi těsněními - pístnice i pístů - již od výrobce a má tedy odpovídající materiál i životnost. Již nebude třeba empiricky vybírat vzduchová těsnění. V případě poruchy válce bude jeho výměna velmi jednoduchá.

Dále, oproti stávajícímu řešení, odpadá potřeba přivádět vysoký tlak vzduchu jako pojistku proti přetlačení dna. Válec si vystačí s pracovním tlakem 0,6 MPa (1,5 l láhev), přičemž vyvodí dostačující sílu na udržení dna v pracovní poloze.

Vyšší spotřebu vzduchu tandemového válce, oproti stávajícímu řešení, lze snížit. Jakékoli snížení tlaku vzduchu pro pohyb válce do výchozí polohy se pozitivně projeví na výsledné spotřebě vzduchu. Při snížení pracovního tlaku plnění komory při pohybu zpět na 0,1 MPa, bude spotřeba vzduchu stejná jako v případě stávajícího řešení. Pokud by nedošlo k žádné úpravě spotřeby vzduchu, stane se právě ona nevýhodou tohoto řešení. Tento problém je možné snadno odstranit zařazením redukčního ventilu za rozváděč (viz. kapitola 4.9).

7 Literatura

- [1] Hlavička, A.; Vejražková, I. *Plasty pro stavebnictví a architekturu 1 Úvod do zpracování plastů* [online]. Ver. 1.0, [cit 2008-01-18].
Dostupné z: <<http://www.imaterialy.cz/clanky>>.
- [2] Kopáček, J.: *Pneumatické mechanizmy - díl 1. Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998. 267 s.
ISBN 80-7078-306-0
- [3] Kopáček, J.: *Pneumatické mechanizmy - díl 2. Řízení pneumatických systémů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1997. 94 s. ISBN 80-7078-498-9
- [4] Lenfeld, P.: *Technologie II - díl 2. Zpracování plastů*. [online].
Liberec: TU Liberec. Dostupné z: <<http://www.ksp.tul.cz>>
(elektronická skripta)

Firemní literatura:

- [5] Complete Packing and Bottling Systems. Nový Bohumín: Exelsior Group, 2009. 5 s.
- [6] *Lonza s.c.* .Gdaňsk: Lonza, 2009. 2 s.
- [7] *SBO CompactTM - New benchmark in linear machine design*.
Le Havre: Sidel, 2005. 10 s.
- [8] *SBO UniversalTM - Cut your bottle blowing costs by up to 20%*.
Le Havre: Sidel, 2006. 14 s.
- [9] *SFR/SF Blowing Systems*. Vittorio Veneto: Sipa, 2009. 14 s.
- [10] Fluidní svaly MAS [online]. Praha: Festo. Ver. 5.2.2,
[cit 2006-01-17]. Dostupné z:< <http://www.festo.com/cms>>.
- [11] Tandemové válce DNCT-ADVUT [online]. Praha: Festo. Ver 5.2.2,
[cit 2007-02-23]. Dostupné z:< <http://www.festo.com/cms>>.
- [12] Válce s brzdou DNCKE [online]. Praha: Festo. Ver 5.2.2,
[cit 2007-02-23]. Dostupné z:< <http://www.festo.com/cms>>.
- [13] Stůl s vedením MGF_CAT [online]. Brno: SMC. Ver 1.4,
[cit 2005- 03-01]. Dostupné z:< <http://2009.oc.smc-cee.com/cz>>.

Seznam příloh:

Příloha A: Tandemový válec, číslo výkresu: VSB-TUO-BP-1